

DOI: 10.13432/j.cnki.jgsau.2021.06.001

# 我国景观生态学尺度效应研究进展

刘学录

(甘肃农业大学资源与环境学院,甘肃 兰州 730070)

**摘要:**尺度依赖性和尺度效应是景观生态学研究的基本问题之一. 选择适宜的尺度,对于科学、准确分析景观结构、景观格局、景观功能、景观动态及其与景观生态过程的相互关系,管理和维护景观异质性具有重要意义. 本文基于近年来我国景观尺度效应研究的相关报道,回顾了景观尺度效应研究的进展,展望了今后深入研究景观尺度效应的方向.

**关键词:**景观生态学;尺度效应;研究进展

**中图分类号:** P901

**文献标志码:** A

**开放科学(资源服务)标识码(OSID):**

**文章编号:** 1003-4315(2021)06-0001-09



## Progress of study on scale effect in landscape ecology in China

Liu Xuelu

(College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Scale dependence and scale effect are essential questions of study in landscape ecology. Choosing suitable scale is very important in scientific and reasonable analysis on the interaction between landscape structure, landscape pattern, landscape function, landscape dynamics and landscape ecological process, as well as management and maintain the landscape heterogeneity. This paper reviewed the progress of the study on scale effect in landscape based on recent reports focused on scale effect of landscape in China, prospected questions of scale effect on landscape ecology should to be solved in future study.

**Key words:** landscape ecology; scale effect; study progress

尺度依赖性是我国景观生态学研究的基本问题之一. 尺度效应的分析与讨论,对于准确理解景观结构、景观异质性、景观生态过程之间的关系;系统阐明景观格局指数的生态学含义;选择适宜的尺度来进行上述研究具有决定性的影响. 只有选择了适宜的研究尺度,对景观格局的研究才有意义. 正是由于尺度效应对于景观生态学研究具有如此重要意义,使得尺度效应的研究在景观生态学中一直处于比较活跃的前沿领域,积累了丰富的研究材料. 赵文武<sup>[1]</sup>

等分析了尺度效应分析的理论基础,综述了2010年以前我国景观格局演变尺度效应的研究进展,展望了未来的研究方向. 为了反映近年来景观尺度效应研究的新进展,本文基于CNKI篇名以“尺度效应+景观”为检索词的2010以来的研究报道,补充了赵文武未引用的、研究方法有一定特色的2010年以前的个别文献,综述了景观尺度效应的研究进展,总结了研究特征,展望了未来的研究方向,以期深化景观尺度效应研究提供参考.

**第一作者:** 刘学录,教授,博导,主要从事景观生态学研究. E-mail: liuxl@gsau.edu.cn

**基金项目:** 多规合一背景下的生态型土地整治与生态屏障功能研究(GAU-XZ-20160812).

**收稿日期:** 2021-10-07; **修回日期:** 2021-11-19

## 1 尺度梯度设置方法

景观生态学中的尺度指研究或观察某一景观生态学过程、现象、问题时所采用的空间单位和时间单位,同时又指该现象或过程在空间上涉及的范围和时间上发生的频率与持续时间.尺度通常用粒度和幅度来表达.粒度指识别研究对象时所采用的空间单元和时间单位,例如长度、面积等空间单位,年、月、年、日等时间单位.空间上的粒度相当于遥感技术中的像元,时间上的粒度指研究现象发生的频率和时间间隔.幅度指研究对象在时间上的持续时间,在空间上的覆盖范围.因此,景观尺度效应研究中的基础技术问题就是进行尺度梯度的设置,即确定分析研究对象时所采用的时间、空间单位或步长以及研究区的时空范围.

### 1.1 粒度尺度梯度的设置

在景观尺度效应分析中,粒度梯度的设置方法具有多样性.已有研究报道中,粒度梯度设置的方法大体上可以归为两类:一类是覆盖全部研究范围的,另一类为非全覆盖的,可以理解为抽样的方法.

**1.1.1 全覆盖的粒度梯度设置** 在覆盖全部研究区的粒度梯度设置中,最常见的方法为一定分辨率栅格数据的等间距(步长)或者不等间距(步长)加密或者融合.在等步长粒度尺度等级设置中,步长最大的为 1 km<sup>[2-3]</sup>,最小的为 5 m<sup>[4-5]</sup>.还有以 10<sup>[6-7]</sup>、20<sup>[8]</sup>、100<sup>[9]</sup>、200 m<sup>[10]</sup>为步长分别设置粒度梯度的.最多见的粒度尺度梯度步长为 30 m<sup>[11-17]</sup>,这可能与采用的栅格数据的分辨率多为 30m 有关.尺度梯度最少的为 3 个<sup>[2]</sup>,其次还有 5 个<sup>[3,9-10]</sup>、6 个<sup>[4]</sup>、8 个<sup>[5]</sup>、10 个<sup>[11,14-17]</sup>、11 个<sup>[12]</sup>、13 个<sup>[8]</sup>、22 个<sup>[13]</sup>、28 个<sup>[6]</sup>、38 个<sup>[7]</sup>等不同的设置方式.

在不等步长粒度尺度等级设置中,有将研究区在 10~100 hm<sup>2</sup>的粒度区间依次指定为 6 个最小单元的<sup>[18]</sup>,在 10~300 m 的粒度区间生成 5 个粒度等级<sup>[19]</sup>,有的在 10~500 m 的区间设置了 16 个梯度等级<sup>[20]</sup>,在 5~300 m 共 17 个粒度等级<sup>[21]</sup>,在 1~50 m 的范围内设置为 6 个粒度梯度<sup>[22]</sup>,在 2.5~200 m 的区间重采样为 7 个等级<sup>[23]</sup>,在 667~4 000 m 的范围内设置 6 个等级<sup>[24]</sup>;在 20~2 000 m 范围内选择 8 个基本输出单元<sup>[25]</sup>;在 30~

250 m 的区间重采样为 6 个粒度尺度等级<sup>[26]</sup>.还有采用分级递进的方法设置粒度尺度的.例如,在 5~50 m 范围,以 5 m 为步长,划分为 10 个粒度等级;在 50~100 m 粒度范围,以 10 m 为步长,划分为 5 个粒度等级;在 100~200 m 粒度范围,以 20 m 为步长,划分为 5 个粒度等级;在 200~500 m 粒度范围,以 50 m 为步长,划分为 6 个步长等级<sup>[27]</sup>;在 1~15 m 范围内,按照 1 m 的步长选取粒度,在 15~100 m 范围内,按照 5 m 的步长选取粒度,在 100~300 m 范围内,按照 10 m 的步长选取粒度<sup>[28]</sup>.总体上,这种粒度梯度设置方式,在小尺度上,间距或者步长较小,随着尺度增大,粒度尺度的步长也逐渐增大.

有些研究采用比例尺作为粒度梯度的依据.例如,以 QuickBird 影像(最大分辨率 0.61 m)为基础设定为 1:2 000、1:4 000、1:6 000、1:8 000、1:10 000 等 5 个粒度级别所进行的尺度效应研究<sup>[29]</sup>.根据地貌类型选择 1:1 万、1:5 万、1:10 万、1:25 万、1:50 万等多尺度土地利用数据样本开展的尺度效应的研究<sup>[30]</sup>.有的研究工作则直接以分辨率分别为 0.5、2.5、15、30 mm 的航片、SPOT5、ETM 影像设置粒度梯度<sup>[31]</sup>.甚至有以植被类型从高级到低级的分类系统设置尺度梯度的研究<sup>[32]</sup>.

**1.1.2 非全覆盖(抽样)的粒度梯度设置** 这类研究中,抽样方法可以区分为样线法、样带法 2 种.以样带法抽样的研究,是在研究区 1:50 000 地形图上以海拔最高点为中心,选择相对高差较大的区域设计了 8 个辐射样带,在样带上分别设置 2 mm×2 mm、4 mm×4 mm 和 6 mm×6 mm 3 种连续样方<sup>[33]</sup>.采用样线法的研究,基础样线长度为 38 m,设置了 8 个 粒度梯度(38,76,152,304,608,1 216,2 432,4 864 m)<sup>[34]</sup>.

无论采取何种方式进行粒度设置,粒度等级的丰富与否,对于认识景观指数随尺度变化的全貌;识别潜在的、有意义的特征尺度、适宜或者有效尺度均具有显著的影响.

### 1.2 幅度设置方法

幅度梯度设置的主流方法为以研究区的几何中心开始,以等步长或者不等步长的间隔,保持粒度或者分辨率不变,以正方形或者圆形的方式向外扩展,

直至幅度能够覆盖整个研究区为止。

等步长的研究工作包括:以正方形区域的左下角落元为不变点,横轴和纵轴都以1 km为间隔,得到1~12 km等12个不同幅度<sup>[11]</sup>;从研究区几何中心以步长为1 km的正方形向外逐渐增加的方式设定幅度,共计104个幅度梯度<sup>[35]</sup>;把研究区生成1~5 km的5个幅度<sup>[36]</sup>;以1 km为间隔,得到2~4 km 3种空间幅度<sup>[8]</sup>;以研究区的几何中心为中心,以1 km为步长,正方形向外逐渐增加的方式设定空间幅度,最小幅度为1 km×1 km,最大幅度为35 km×35 km<sup>[37]</sup>;以研究区几何中心点为圆心,5 km为一个步长建立圆形缓冲区,最小幅度为5 km、最大幅度为40 km的同心圆<sup>[27]</sup>;在2~4 km之间设置了3种空间幅度<sup>[8]</sup>;从几何中心开始,按照0.5 km的步长逐渐增加幅度,最小幅度为0.5 km×0.5 km的正方形,最大幅度为19.5 km×19.5 km的正方形<sup>[28]</sup>;以几何中心为辐射原点,以5 km为间隔,共生成21个梯度带<sup>[38]</sup>;从研究区几何中心以步长为1 km的正方形向外逐渐增加的方式设定尺度分析的空间幅度,最小幅度为1 km×1 km,最大幅度为100 km×100 km<sup>[39]</sup>。

不等长的幅度设置,幅度的区间、步长、梯度等级在不同研究之间差别显著。以研究区几何中心点为中心,选取10 km×30 km,20 km×60 km,40 km×120 km和全区域共4个幅度范围<sup>[19]</sup>;以调查样地为中心,设置150~1 500 m 7个不同半径的缓冲区<sup>[40]</sup>;以边长为1 km正方形为第1幅度,边长2 km的正方形为第2幅度,然后按照2 km步长逐渐增加幅度的设置,最大幅度为91 km×91 km,共计45个幅度<sup>[12]</sup>;分别以100、200、500、800、1 000、1 200 m为半径设置6个缓冲区<sup>[21]</sup>。

## 2 数据分析方法

大多数的研究对于数据的分析以直接观察景观指数随尺度的变化曲线,并且将数据曲线根据变化的趋势划分为不同的类型为主<sup>[7,13-14,22-23,28]</sup>。在此基础上,也有进行回归分析,拟合出数据趋势函数表达式的报道<sup>[13,29,31,32-33,41]</sup>。应用地统计学方法<sup>[2,9,21,27,36]</sup>、变异系数<sup>[14,24-25,35-38,39,42]</sup>、空间自相关性<sup>[13,8-9]</sup>、冗余分析<sup>[21,40,43-44]</sup>等方法进行数据变化特

征分析的工作受到一定程度的重视。

## 3 粒度效应

粒度的尺度效应,总体上具有随着粒度的变小或者变大,尺度依赖性、特征尺度、适宜尺度明显的特征,但在研究方法、分析指数、尺度设置之间差异明显。

在10~500 m的区间以不等长的方式设置16个梯度等级的研究表明,蔓延度指数、邻近相似度指数、破碎度指数和多样性指数均随像元尺度的增加而单调递减,递减速率在10~50 m区间上较快,在50~500 m区间的较慢;连接度、结合度、均匀度和优势度指数随着尺度的增加出现了不同的变化曲线;尺度选择30 m较为合理<sup>[20]</sup>。在5~300 m范围内不等长设置17个粒度等级的研究表明,随研究尺度的变化,除平均周长面积比和面积周长分维数指数没有尺度转折点外,其余指数均具有明显或不明显的尺度转折点;除多样性指数和最大斑块指数对尺度变化弱敏感外,其余景观指数对尺度变化相对敏感,[5,10] m的尺度域有利于适宜研究尺度的选择,10 m尺度是研究区观格局的本征尺度<sup>[21]</sup>。

景观尺度效应的空间自相关研究包括:以1 km为步长,在2~4 km的范围内设置3个粒度梯度的研究表明,3 km幅度下,景观多样性指数可分为3个区域:最高值区分布于多种景观组分相互交错分布区,次高值分布具有多个中心,最低值区分布于景观组分单一的地区;斑块密度可分为3个层次:斑块密度最大值分布于斑块较破碎的区域,最低值区分布于景观组分单一的地区,次高值则介于两者之间;3 km作为研究区景观格局研究的最佳粒度<sup>[2]</sup>。在300~900 m、以150 m为步长设置,5种取样尺度的研究表明,从景观尺度上看,随着尺度的递减景观组分间的关系越得到体现,因此推断在较小的尺度范围内能更好解释景观组分间的关系;农田、山顶矮曲林、竹林等景观组分分布的差异性较大,而落叶阔叶林和针阔混交林、常绿针叶林和常绿阔叶林、灌草丛和泥潭藓沼泽分布的差异性较小;景观格局呈现较为明显的纬度梯度变化规律和垂直分布特征<sup>[4]</sup>。在以200 m为步长,在200~1 000 m范围内等步长设置粒度梯度的研究表明,景观要素间的空间关联性

的强弱随着取样尺度变化而变化,变化的幅度也有所不同,对于该区域而言应在  $600\text{ m} \times 600\text{ m}$  尺度上研究较为合理;景观斑块的全局关联性在一级分类标准下是负相关,但在二级分类和三级分类标准下呈现正相关性<sup>[10]</sup>.在以  $100\text{ m}$  为步长,在  $400\sim 800\text{ m}$  范围内等步长以及在  $5\sim 40\text{ m}$  之间以  $5\text{ m}$  为步长等间距设置粒度梯度的研究取得了相同或者类似的结果<sup>[5,9]</sup>.

在  $10\sim 300\text{ m}$  范围内不等长设置 5 个粒度等级的研究中显示,除斑块面积外,其他景观指数对粒度的变化均呈现较强的敏感性;当空间分辨率到达  $100\text{ m}$  时,斑块数量和斑块密度均出现波峰;边界长度均呈现由大到小的变化特征,亦表现为较强的敏感性;多样性指数逐渐减小,景观异质性减弱,尤以空间分辨率大于  $100\text{ m}$  时更为明显,敏感性更强<sup>[19]</sup>.在  $30\sim 300\text{ m}$  之间以  $10\text{ m}$  为步长等间距重采样的研究表明,景观格局自相似性具有空间尺度依赖性,分维数均随空间粒度的增大而减小,不同景观组分的自相似性对尺度的响应敏感点不同,  $50\sim 60\text{ m}$  为研究区各景观类型的自相似性尺度;随着空间粒度的增大,建设用地、水域和其他用地的分维数差异缩小,而耕地和林地分维数的差异却增大<sup>[6]</sup>.在  $30\sim 300\text{ m}$  之间以  $30\text{ m}$  为步长等间距重采样的研究表明,不同地形上斑块密度、形状指数、结合度 3 个指数有明显的粒度效应,随粒度的增加呈现逐渐减少的变化趋势;最大斑块指数、周长面积比、景观聚集度、多样性指数 4 个指数随粒度的增加几乎不发生变化.不同地貌的景观指数随幅度的变化规律比较复杂,形状指数随幅度的增加呈现逐渐增加的趋势,其余 6 个指数在较小幅度范围内变化比较复杂,但随着幅度的增大有逐渐趋于平稳的趋势<sup>[11]</sup>.在  $30\sim 600\text{ m}$  之间以  $30\text{ m}$  为步长等间距重采样的研究表明,随着粒度的增加,景观格局指数呈现出指数值基本不变、指数值呈现有规律的上升或下降且有明显拐点、指数值呈现有规律的上升或下降但拐点不明显、无规律变化 4 种变化趋势;研究区适宜粒度范围耕地为  $120\text{ m}$ 、林地、草地为  $90\sim 130\text{ m}$ 、水域为  $90\sim 110\text{ m}$ 、建设用地为  $90\sim 130\text{ m}$ 、未利用地为  $110\sim 160\text{ m}$ <sup>[13]</sup>.在  $1\sim 50\text{ m}$  之间不等长步长设置粒度梯

度的结果表明,随着粒度的增加,各景观格局指数表现出五种不同的变化趋势,当空间尺度增加到一定程度时,景观格局指数值的变化会出现明显或不明显的尺转折点,研究区景观格局指数的适宜粒度为  $1\sim 5.0\text{ m}$ <sup>[22]</sup>.根据粒度的整数倍对原始  $30\text{ m}$  数据进行聚合,形成  $60\sim 360\text{ m}$  的粒度梯度,结果表明,随着粒度的增加,景观指数对粒度变化的响应特征有明显差异,除多样性指和均匀度指数外,其余指数均表现出较明显的粒度效应;随着粒度的增加,绝大多数景观指数变化曲线存在明显的拐点或跃变区间,表现出明显的尺度域<sup>[12]</sup>.

基于高分辨率(分辨率为  $2.1\text{ m}$ )、在  $2.5\sim 200\text{ m}$  之间不等长设置梯度的研究表明,斑块个数、边缘密度、平均斑块面积具有明显的尺度效应,斑块面积则相对稳定;斑块形状特征表现出对空间粒度强的敏感性,而聚集特征则随着空间粒度的增大没有规律性的变化;景观的多样性特征随空间粒度的变化极为缓慢,对粒度变化的敏感性相对较弱.对于不同的景组类型,斑块为条状结构或斑块边界不规则的景观组类型对空间粒度有较强的响应,而斑块形状相对规则的景观组类型的尺度效应不明显<sup>[23,45-50]</sup>.基于分形理论的研究结果表明,随着粒度的递减,斑块的稳定性和数量呈递增趋势,相对频率和平均分维数呈递减趋势,其中河流水面斑块形状最复杂,农村居民点斑块最简单;斑块分维数受尺度影响呈中小程度变异;斑块个数受尺度影响呈中度变异,斑块个数比斑块分维数受尺度影响更显著<sup>[24]</sup>.基于样线法的研究结果表明,在  $3\ 200\text{ m}$  尺度上进行水田景观异质性相关的研究将具有很好的代表性;林地、草地、未利用地可以选取  $800\text{ m}$  作为研究尺度<sup>[45]</sup>.以 1 万比例尺下地物的最小长度为  $20\text{ m}$  为基础,在  $20\sim 2\ 000\text{ m}$  之间不等常规设置输出单元的研究结果表明,斑块类型水平上,斑块密度、斑块结合度指数、斑块聚集度指数、有效网格大小、面积加权平均形状指数对尺度变化响应较为敏感;斑块面积百分比、面积加权平均斑块分维数和分离度指数响应不敏感;耕地、水域及水利设施用地是对尺度变化较为敏感的景观组类型;根据景观指数随尺度增加的变化规律,可将景观指数划分为单调递减型、波动式递减型、稳定不变型和不确定型 4

种类型;景观水平上,各景观指数随尺度增加均呈现出下降的趋势,除斑块密度外,其他景观指数变化均较为缓和;除香农多样性指数和香农均匀度指数外,各景观指数对尺度变化的响应均具有较为明显的规律性<sup>[25]</sup>。

在30~300 m之间以30 m等步长设置梯度的研究表明,粒度效应敏感的指数有斑块密度、斑块个数、分离度指数、邻近度指数,粒度效应比较敏感的指数有平均斑块面积、最大斑块指数,粒度效应最不敏感的指数有形状指数、聚集度指数及结合度指数;大致可将上述9种景观指数分为3类:第一类,随着粒度的增大,景观指数值表现为下降的变化趋势;第二类,随着粒度的增大,景观指数值呈逐渐增大的趋势;第三类,随着尺度的增大,具有显著的尺度转折,可预测性差;随着粒度的粗化,农村居民点破碎度降低,优势度增加,形状变得规则,分布趋向分散,研究区农村居民点的最佳尺度范围为60~90 m,适宜粒度为90 m<sup>[14]</sup>。在1~5 km之间以1 km等步长设置梯度的研究表明,地表温度空间格局具有明显的尺度效应,巢湖流域地表热环境效应相关研究的适宜粒度域为2~4 km。斑块水平上,不同景观组分类型格局指数对粒度变化的响应敏感性不一致<sup>[3]</sup>。不同分辨率数据(分辨率为250 m和30 m)的研究结果表明,在类型水平上,斑块密度都随着粒度的增大而减小;斑块面积的变化趋势相似;周长面积分维度的总体趋势在2种数据之间表现不同;在景观水平上,景观指数的变化趋势表现出不同形式,且不同景观指数间的变化趋势也存在差异;随着空间尺度的增大,斑块密度、景观形状指数和斑块数量均呈现单调下降的趋势;最大斑块指数的变化趋势不确定,多样性和均匀性指数的整体变化趋势相对稳定<sup>[26]</sup>。

基于样线法(38, 76, 152, 304, 608, 1 216, 2 432, 4 864 m)的研究结果表明,随着观测尺度(粒度)不断增大,各景观组分的信息量指标均呈现出逐渐减小的趋势,具有明显的尺度依赖性。在较小的观测粒度下,各景观组分的参数差异较大,当观测粒度大于608 m时,景观组分的空间分布开始趋于均匀,景观异质性的尺度效应不明显,608 m为样线法研究景观格局粒度效应的有效粒度<sup>[34]</sup>。

采用分级递进的方法设置粒度尺度结果表明,土地利用景观格局具有明显的尺度效应,随着粒度的增加,斑块类型水平上,建筑、道路和绿地在景观优势度、破碎度、聚集度等方面均发生了较大的变化,进而导致景观水平上景观格局对粒度变化的响应,且从各指数变化转折点得出研究粒度效应的临界阈为35 m,最佳粒度为3 m<sup>[28]</sup>。采用分级递进的方法设置粒度尺度的结果表明:随着粒度变粗,各景观格局指数在景观水平指数上总体表现为3个方面的特点:1)随粒度的变粗,景观指数效应曲线呈现出下降;2)随粒度的变粗,景观指数效应曲线呈现出上升;3)随粒度变粗,景观指数效应曲线呈现出幅度变大的波动变化。各森林景观组分类型指数随着粒度变粗表现出相同或相近的变化趋势,但相同的森林景观组分类型在不同景观格局指数上均体现出不同的敏感性特征<sup>[27]</sup>。

以30 m为起点,400 m为终点,10 m为间隔的粒度梯度(分辨率为30 m)研究结果又表明,随粒度增加指数值呈现平缓下降趋势,无明显的尺度转折点。这类指数有斑块密度、景观形状指数、蔓延度指数、聚合度指数、相似毗邻百分比,景观指数对粒度变化的响应敏感性不强。随粒度的增加指数值呈现平缓的上升或下降趋势,有明显的尺度转折点。表现出这种变化趋势的指数包括周长面积分维数、平均分维数、平均邻近指数、散布与并列指数、黏聚力指数。随粒度的增加指数值多数平缓稳定,但伴随有几处大幅的上下振荡。这类指数有最大斑块指数、景观分离度指数、分散指数、有效网格大小、多样性指数、均匀度指数。随粒度的增加指数值起初有小幅振荡变化,后呈现上下剧烈振荡。此类情况只有平均形状指数。随粒度的增大,研究区土地利用景观格局的总体变化特征为总的斑块数及斑块密度在逐渐减少,景观形状复杂性及多样性趋于降低,且景观聚合度也在降低,当粒度增加到一定程度时,某些景观格局指数值会发生急剧的突变,随着粒度的增大,其信息会遗失。从而导致某些景观指数值在尺度转折点附近发生较大的变化,250 m是较适宜的移动窗口分析幅度<sup>[7]</sup>。以30 m步长设置粒度尺度(分辨率为30 m),结果表明,随着空间尺度的增大,景观破碎程度增大,景观分布越来越分散,景观异质性减小,

斑块之间连接度越来越弱. 空间尺度依赖较明显的是聚集分散指数和形状指数, 空间尺度依赖较弱的是斑块类型指数, 最佳空间尺度为 60 m<sup>[15]</sup>. 同样以 30 m 的步长设置粒度尺度(分辨率为 30 m)的研究结果表明, 耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地的面积百分比、多样性、均匀性没有明显变化, 斑块密度、聚集度、凝聚度显著下降, 不同景观组分下降程度不同; 周长面积分维数增加; 在景观水平上, 粒度为 240 m 处出现拐点<sup>[16]</sup>. 采用 SPOT5 卫星影像(分辨率 2.5 m)、航空影像(分辨率 0.5 m)、DEM 高程数据(分辨率 30 m)从 30~300 m 之间, 以 30 m 为间隔, 利用简单聚合法将景观类型栅格数据进行空间粒度上推, 结果表明, 4 种植被在空间尺度上具有相同的变化特征, 而在时间尺度上表现出不同的变化趋势; 不同景观指数对时空尺度的响应结果不同, 边缘密度、斑块密度、形状指数、聚集度指数及蔓延度指数在时空尺度上具有较强的尺度效应, 且 90 m 为研究区植被景观格局的最佳分析粒度<sup>[17]</sup>.

#### 4 幅度效应

幅度梯度设置有限的情况下, 景观指数对幅度变化均表现出较强的敏感性, 且幅度越小, 变化越显著; 随着幅度的增大, 斑块数量逐渐增多且表现出较强的敏感性, 斑块密度逐渐降低但敏感性不强; 边界长度和多样性指数均逐渐增大, 其幅度敏感性亦较强<sup>[19]</sup>. 景观指数对物种多样性的影响具有尺度依赖性, 不同指数的影响不同<sup>[40]</sup>. 当幅度 < 8 km, 除周长-面积分维数外, 其余指数随幅度增加均表现出随机性. 当幅度 > 5 时, 周长-面积分维数对幅度变化不敏感, 而其余指数均表现出较明显的幅度效应<sup>[12]</sup>.

幅度设置较为丰富(步长 1 km, 幅度范围 104 km)的研究表明, 随着空间幅度的增大, 不同景观组分的斑块类型指数的尺度效应在不同幅度区间存在差异性, 景观水平指数的尺度效应在不同幅度区间也存在差异性. 在 1~20 km 幅度区间, 尺度效应的组分类型、指标类型之间差异最明显; 在 21~90 km 幅度区间, 尺度效应的组分类型、指标类型之间差异较小; 在 > 90 km 幅度后, 尺度效应的差异不

明显, 尺度效应消失. 90 km×90 km 为研究景观格局尺度依赖性的有效幅度, 幅度超过 90 km 后, 具有指示意义的景观格局参数的尺度效应消失. 在 100 km×100 km (10 000 km<sup>2</sup>) 的尺度依赖性范围至少存在 2 个特征尺度, 第 1 个在 20 km 左右, 第 2 个在 90 km 左右, 第一个特征尺度下进行景观格局研究的随机性较大, 但更有利于发现和识别景观生态过程的特殊性; 在第二个尺度下, 则更有利于探讨景观格局与景观过程的共性<sup>[35]</sup>. 研究发现, 在 1~15 km 尺度区间上, 尺度效应差异最大; 在 16~30 km 尺度区间内, 尺度效应的差异明显减小; 而在 30 km 尺度区间以后, 尺度效应逐渐消失. 因此 30 km×30 km 的尺度是有效幅度<sup>[37]</sup>. 步长小更小(0.5 km)、幅度范围也小(19.5 km)的研究表明, 随着空间幅度的增加, 景观优势度、破碎度和蔓延度逐渐降低, 景观复杂程度和聚集度逐渐升高, 景观构成类型趋于稳定. 斑块类型水平上, 6 km 幅度范围内, 景观格局的幅度效应最显著<sup>[28]</sup>.

景观多样性指数和斑块密度指数的尺度依赖性研究表明, 随着幅度的增加, 空间自相关部分贡献率上升, 与人类的活动有关, 土地开发强度大的地方, 指数也比较大, 3 km 幅度是一个比较合适的幅度<sup>[36]</sup>. 以 5 km 为步长建立圆形缓冲区的研究表明, 景观指数均表现出不同的敏感性. 香浓多样性指数和面积加权平均斑块分维数指数在一定空间幅度范围内对不同粒度反应较为敏感, 斑块密度指数、聚集度指数、蔓延度指数和景观形状指数随幅度变化对不同粒度反应为不敏感. 不同景观组分随幅度变化也表现为不同的敏感性特征. 多数景观指数在 10 km 幅度范围均出现明显尺度转折点, 反映出的敏感性较强, 在大于 10 km 幅度范围后逐渐趋于平稳, 敏感性减弱<sup>[27]</sup>. 有研究表明, 指数的空间变异与距离均呈正比, 存在空间自相关性; 当幅度较小时, 信息量较大, 不利于重要信息的提取; 当幅度较大时, 又会掩盖小幅度的空间异质性, 考虑空间信息规律和拟合效果, 选择 3 km 作为研究景观格局尺度效应的适宜幅度<sup>[8]</sup>. 随着空间尺度的增加, 各景观格局指数表现出不同的变化趋势, 当空间尺度增加到一定程度时, 景观格局指数值的变化会出现明显或不明显的尺度转折点或者多个拐点, 适宜空间尺度

范围为1~5.0 m<sup>[22]</sup>。景观组分或者要素的面积和结构特征中的斑块个数、边缘密度、平均斑块面积具有明显的尺度效应,斑块面积则相对稳定;形状特征表现出对空间粒度强的敏感性,而聚集特征则随着空间粒度的增大没有规律性的变化;景观的多样性特征随空间粒度的变化极为缓慢,对粒度变化的敏感性相对较弱。斑块为条状结构或斑块边界不规则的景观组分对空间粒度有较强的响应,而斑块形状相对规则的景观类型的尺度效应不明显<sup>[23]</sup>。景观格局对湿地水质影响的空间尺度效应体现在不同圆形缓冲区内,在半径为800 m的圆形缓冲区内总解释变异值最大,景观组成变量仅有在半径为1 000 m的圆形缓冲区内与水质参数具有相关性;景观组分中养殖塘在半径为200 m的圆形缓冲区内对水质影响较大,水田、乔木林地和湖泊在空间尺度较大的圆形缓冲区(半径大于500 m)是影响水质的主要景观组分;景观格局与水质最相关的空间尺度为800 m的圆形缓冲区,不同尺度缓冲区内景观结构变量对水质的解释能力均比景观组成变量明显<sup>[21]</sup>。

## 5 研究展望

虽然尺度效应的研究在粒度效应、幅度效应的研究方面取得了积极的进展;但是根据景观生态学研究中对尺度的定义与理解,以及现有的研究结果与结论差异巨大的现状,在以下方面还需要进一步开展研究。

### 5.1 时间尺度效应的研究不足

景观生态学中基本的尺度类型包括空间尺度和时间尺度。虽然有的研究中涉及到了不同时期景观尺度效应的比较<sup>[3]</sup>,但与真正意义上的时间尺度效应还有本质的不同。至少没有确的时间梯度的设置,时间尺度效应的研究弱于空间尺度效应的研究。

### 5.2 景观功能、景观动态的尺度效应的研究较少

景观生态学的主要研究内容包括景观结构与格局、景观功能、景观动态、景观规划与管理。从目前景观尺度效应研究的内容看,景观结构、景观格局的尺度效应研究相对比较广泛,而景观功能、景

观动态的尺度效应研究较少。

### 5.3 不同类型景观之间景观尺度效应的比较研究有待深入

由于地域分异规律的存在,景观的类型具有多样性;再加上人类活动的方式、强度在空间、时间上存在显著的差异,更加丰富了景观类型的多样性(不是景观多样性—生物多样性在景观水平上的表现)。虽然,已经有了进行不同景观类型景观尺度效应的比较研究<sup>[11,39]</sup>,但涉及的景观类型比较单一,类似的研究工作开展得还不够丰富。

### 5.4 不同景观组分、景观指数之间的景观尺度效应的比较研究有待深入

无论是廊道、斑块,还是基质,作为景观组分,它们的成因、数量、形状、边缘特征、异质性、结构等特征在不同景观甚至同一景观中都存在显著的差异。现有的研究结果对不同或者相同景观组分及其景观指数之间的景观尺度效应的结论性表述,有相同、相似之处,例如景观多样性的粒度依赖性和尺度效应不明显<sup>[12,23,25]</sup>,而斑块密度对粒度的变化呈现出较强的敏感性<sup>[16,25-26]</sup>。但区别与差异更显著,更广泛。例如对于适宜粒度尺度的选择,就有10<sup>[20]</sup>、20、600 m,甚至3 km等<sup>[2,9,20-21]</sup>不同的结果;对于适宜或者有效幅度的确定,有100 km×100 km<sup>[35]</sup>、30 km×30 km<sup>[37]</sup>、10 km×10 km<sup>[27]</sup>、3 km×3 km<sup>[8]</sup>等不同的结果。对这种差异的具体表现、原因及其生态学意义仍然缺乏深入的研究与分析。

### 5.5 尺度梯度设置的理论基础尚显薄弱

景观尺度效应研究的一个显著特点就是尺度等级设置的多样性,这也是目前的尺度效应研究结果与结论在不同的研究工作中存在差异的主要原因之一。为了使不同的研究工作取得的研究结果有共同的可比较基础,需要建立尺度设置的理论,在该理论的规范下,统一尺度设置的方式,为不同研究工作之间研究结果的比较奠定基础。有了尺度设置理论的基础,更有利于深化不同研究工作中相同研究内容差异的具体表现、原因及其生态学意义。如何依据采用的研究数据在类型与性质(遥感影像与专项调查成果、矢量数据与栅格数据、分辨率与比例尺、最小斑块、平均斑块、最大

斑块等等)来设置合理、适宜的尺度等级是景观尺度效应研究中急需解决的基础性技术课题。

#### 参考文献

- [1] 赵文武,朱婧.我国景观格局演变尺度效应研究进展[J].中国人口资源与环境,2010,20(专刊):287-291.
- [2] 杜秀敏,黄义雄,叶功富.厦门市景观格局的尺度效应分析[J].测绘科学,2010,35(4):71-74.
- [3] 黄木易,岳文泽,何翔.巢湖流域地表热环境与景观变化相关分析及其尺度效应[J].中国环境科学,2017,37(8):3123-3133.
- [4] 游巍斌,林巧香,何东进,等.天宝岩自然保护区森林景观格局与环境关系的尺度效应分析[J].应用与环境生物学报,2011,17(5):638-644.
- [5] 孙拥康,李际平.森林景观格局与环境关系及其尺度效应:以西洞庭湖区为例[J].东北林业大学学报,2014,42(1):42-46.
- [6] 陈春希,凌子燕,廖超明.基于遥感与GIS技术的景观格局自相似性的尺度效应研究:以防城港市为例[J].测绘通报,2012,(5):50-52.
- [7] 常小燕,李新举,万红等.采煤塌陷区景观格局尺度效应及变化特征分析[J].煤炭学报,2019,44(S1):231-242.
- [8] 胡荣明,杜嵩,李朋飞等.生态脆弱民族地区景观格局尺度效应分析[J].中国科技论文,2020,15(9):1011-1018.
- [9] 薛冬冬,余光辉,温小荣等.基于地统计分析的南京钟山风景区景观格局尺度效应分析[J].西南林业大学学报,2012,32(1):30-35.
- [10] 张春英,张春玲,林晓侠等.武夷山自然保护区植被景观类型空间关联性的多尺度效应[J].浙江农林大学学报,2011,28(6):863-869.
- [11] 毕如田,高艳.典型地貌景观指数的多尺度效应分析:以山西省运城市为例[J].地球信息科学学报,2012,14(3):338-343.
- [12] 靖娟利,王永锋.广西都安县石漠化景观格局的尺度效应[J].桂林理工大学学报,2015,35(2):330-334.
- [13] 冯雪铭,李晶,张东海.关中-天水经济区景观格局分析的尺度效应[J].干旱区研究,2013,30(5):899-904.
- [14] 殷小彤.西北地区农村居民点景观格局指数的尺度效应及其最佳粒度选择分析:以西安市为例[J].中国农业资源与区划,2016,37(12):149-154.
- [15] 王璐,袁艳斌,董恒等.土地利用景观格局空间尺度效应研究:以武汉市为例[J].世界地理研究,2020,29(1):96-103.
- [16] 王朋冲,于强,裴燕如,等.翁牛特旗景观格局尺度效应分析[J].农业机械学报,2020,51(5):223-231.
- [17] 徐雯雯,董雪婷,张志东,等.塞罕坝地区植被景观格局时空尺度效应[J].东北林业大学学报,2021,49(1):106-116.
- [18] 张景华,吴志峰,吕志强.基于景观连接度的斑块分级的尺度效应[J].生态环境,2008,17(5):1926-1930.
- [19] 张超,王妍,岳彩荣等.香格里拉县森林景观格局多尺度效应分析[J].林业资源管理,2011,(6):31-36.
- [20] 张春英,林从华,洪伟,等.武夷山自然保护区景观格局指数的尺度效应分析[J].浙江林学院学报,2009,26(6):877-883.
- [21] 潘竟虎,李璟.河谷型城市城乡结合部景观格局空间尺度效应分析:以兰州市西固区土地利用格局为例[J].生态与农村环境学报,2010,26(2):114-119.
- [22] 陈雷,刘玉龙,李宝强,等.基于3S技术的景观格局指数空间尺度效应变化研究[J].能源环境保护,2014,28(5):28-32.
- [23] 肖艳芳,张杰,马毅,等.基于"资源三号"卫星的黄河口湿地景观格局及其空间尺度效应分析[J].海洋科学,2015,39(2):35-42.
- [24] 杨欢,刘学录.基于分形理论的云南红河县景观斑块尺度效应[J].生态学杂志,2015,34(9):2636-2644.
- [25] 崔闪闪,刘庆,王静.滨海开发带景观格局指数的尺度效应及对土地利用变化的响应:以江苏省大丰市为例[J].地理与地理信息科学,2016,32(6):87-93.
- [26] 周梅,张飞,王娟等.新疆艾比湖流域景观格局尺度效应[J].干旱区地理,2017,34(5):1184-1195.
- [27] 王涛,禄鑫,肖彩霞.红枫湖流域森林景观格局尺度效应敏感性研究[J].林业调查规划,2019,44(4):81-88.
- [28] 汪桂芳,穆博,宋培豪,等.基于无人机航测的漯河市土地利用景观格局尺度效应[J].生态学报,2018,38(14):5158-5169.
- [29] 李秀梅,常学礼,张宁.祁连山北麓青海云杉高山草甸景观的尺度效应分析[J].中国沙漠,2009,29(2):279-287.
- [30] 刘耀林,焦利民.顾及尺度效应和景观格局的土地利用数据综合指标研究[J].测绘学报,2009,38(6):549-555.
- [31] 赵磊.基于多源遥感数据的区域景观格局尺度效应

- [J]. 遥感应用, 2009, (4): 55-61.
- [32] 张春英, 张春玲, 林晓侠, 等. 武夷山自然保护区植被景观斑块空间自相关性的多尺度效应[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2011, 31(6): 481-485.
- [33] 郭砾, 夏北成, 刘蔚秋. 地形因子对森林景观格局多尺度效应分析[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 900-904.
- [34] 林琳, 刘学录. 基于样线法的景观异质性的尺度效应研究: 以甘肃省临夏市为例[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 53(1): 144-151.
- [35] 刘媛媛, 刘学录. 甘肃永登县土地利用景观格局的空间尺度效应[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1221-1228.
- [36] 福星, 王亚娟, 刘小鹏, 等. 生态移民安置区景观格局的尺度效应分析: 以红寺堡区为例[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 339-345.
- [37] 黄越, 王鹏, 叶均艳. 干旱绿洲区景观格局结构的尺度效应: 以宁夏青铜峡市为例[J]. 农业科学研究, 2018, 39(4): 38-44.
- [38] 张韧瓔, 刘学录. 天水市土地利用景观格局的幅度效应研究[J]. 生态科学, 2019, 38(3): 80-89.
- [39] 杨竟艺, 刘学录. 祁连山部分地区山地景观格局空间幅度效应的研究[J]. 生态科学, 2021, 40(2): 142-150.
- [40] 董翠芳, 梁国付, 丁圣彦, 等. 不同干扰背景下景观指数与物种多样性的多尺度效应: 以巩义市为例[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3444-3451.
- [41] 王润, 丁圣彦, 卢训令, 等. 黄河中下游农业景观异质性对传粉昆虫多样性的多尺度效应: 以巩义市为例[J]. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2145-2153.
- [42] 范敏, 彭羽, 王庆慧, 等. 景观格局与植物多样性的关系及其空间尺度效应: 以浑善达克沙地为例[J]. 生态学报, 2018, 38(7): 2450-2461.
- [43] 张婷婷, 高宇, 王思凯, 等. 河口湿地景观格局与大型底栖生物群落的尺度效应研究[J]. 海洋渔业, 2018, 40(6): 679-690.
- [44] 李昆, 王玲, 孙伟, 等. 城市化下景观格局对河流水质变化的空间尺度效应分析[J]. 环境科学学报, 2020, 40(1): 343-352.
- [45] 段亚锋, 王克林, 冯达. 洞庭湖区景观异质性的尺度效应研究[J]. 环境与可持续发展, 2016, (4): 225-228.
- [46] 朱颖, 王怡, 贺凤春, 等. 景观格局对阳澄湖小流域水质变化影响的空间尺度效应[J]. 水土保持通报, 2021, 41(2): 105-113.
- [47] 王德智, 邱彭华, 方源敏. 丽香铁路建设对沿线景观格局影响的尺度效应及其生态风险[J]. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2493-2503.
- [48] 许凯, 余添添, 孙姣姣, 等. 顾及尺度效应的多源遥感数据“源”“汇”景观的大气霾效应[J]. 环境科学, 2017, 38(12): 4905-4912.
- [49] 雷雅凯, 段彦博, 马格, 等. 城市绿地景观格局对PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>分布的影响及尺度效应[J]. 中国园林, 2018, 34(7): 98-103.
- [50] 陈晨, 徐威杰, 张彦等. 独流减河流域绿色基础设施空间格局与景观连通性分析的尺度效应[J]. 环境科学研究, 2019, 32(9): 1464-1473.

(责任编辑 李辛)

## 版权声明

为扩大本刊及作者知识信息交流渠道, 加强知识信息推广力度, 本刊已许可 CNKI 中国知网、万方数据、重庆维普及其系列数据库产品中, 以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文. 该著作权使用费及相关稿酬, 本刊均用作为作者文章发表、出版、推广交流(含信息网络)以及赠送样刊之用途, 即不再另行向作者支付. 凡作者向本刊提交文章发表之行为即视为同意《甘肃农业大学学报》编辑部上述声明.